

УДК 629.5.01:330.341.1

И.М. Москвиченко, М.Я. Постан

*Одесский национальный морской университет
Одесса, Мечникова, 34, 65029*

**ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ
ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕВОЗКИ ПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ
ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

I.M. Moskvichenko, M.Y. Postan

*Odessa national maritime university,
Odessa, Mechnikova 34, 65029*

**DYNAMIC MODEL FOR OPTIMIZATIONS OF PRODUCTION
AND TRANSPORTATION PLANS TAKING INTO ACCOUNT
THE INNOVATIVE ACTIVITY OF ENTERPRISE**

В статье разработана и исследована модель динамической оптимизации планов производства и перевозки продукции с учетом инновационной деятельности предприятия-производителя продукции, которая основана на обобщении классической модели Вагнера-Уайтина теории управления запасами, а также на использовании транспортной задачи математического программирования. Суть подхода состоит в использовании функциональной зависимости затрат на производство и перевозку от объемов инвестиций на реализацию технологических новаций.

Ключевые слова: инновационная деятельность предприятия, модель динамической оптимизации, планы производства и перевозки продукции, инновационная деятельность.

У статті розроблено та досліджено модель динамічної оптимізації планів виробництва та перевезення продукції з урахуванням інноваційної діяльності підприємства-виробника, який

© Москвиченко И.М., Постан М.Я., 2016

засновано на узагальненні класичної моделі Вагнера-Уайтина теорії управління запасами, а також на використанні транспортної задачі математичного програмування. Сутність підходу полягає у використанні функціональної залежності витрат на виробництво та перевезення від обсягів інвестицій на реалізацію технологічних новаций.

Ключові слова: інноваційна діяльність підприємства, модель динамічної оптимізації плану виробництва і перевезення продукції, інноваційна діяльність.

In the article, a methodical approach is proposed for optimization of manufacturing and transportation plans of enterprises and transport companies taking into account their innovation activity. It is based on the classical optimization problems: production planning problem on the bases of Wagner-Whitin inventory control model and transportation problem. The main idea of our approach is functional dependence of production and transportation costs on innovative investments. The case of single industrial enterprise is studied which manufactures the multi-item finished product from several kinds of raw material. Moreover, the supply chain is analyzed including besides the enterprise the transport companies and set of destinations (consumers of finished product). It is assumed that innovation is connected with the manufacturing technology only. In result, the dynamic optimization problem in the field of non-linear optimization is formulated. The control parameters are:

supply plan, production plan, finished products transportation plan, innovative investments plan. The results obtained may be used in the practice of innovation planning of enterprise with application of information technologies.

Keywords: innovative activity of enterprise, optimization of production plan, transportation plan, and innovative activity plan.

Постановка проблеми. Інноваційна стратегія підприємства являється в наші часи найважливішим джерелом досягнень і конкурентних переваг, забезпечуюча лідерство в витратах і в виробництві нових видів товарів і послуг. Інноваційний тип розвитку як на макро-, так і мікроекономічному рівнях став домінуючою тенденцією еволюціонування економічної динаміки [1].

Якщо в початку минулого століття інновації стосувалися лише технічних (технологічних) нововведень, то в наші часи рішення стали грати важливу роль при вдосконаленні організації і управління виробничими процесами. Характерною особливістю нинішнього етапу розвитку менеджменту є велика ступінь інтеграції підприємств в рамках концепції ланцюгів поставок. Якщо окремо в області моделювання і прогнозування поширення інновацій і в області логістичного менеджменту в останні десятиліття економіко-математичні методи і моделі на основі інформаційних технологій отримали достатньо широке поширення, то дослідження умов ефективного синтезу цих двох напрямків поки ще знаходяться на початковому етапі. Це обумовлює актуальність дослідження вказаної проблеми.

Обзор последних исследований и публикаций. В наші часи більша частина існуючих результатів в області математичного моделювання інноваційних процесів в макроекономіці стосується прогнозування поширення інновацій [2-4], де використовуються методи математичкої екології. Що стосується досліджень по обґрунтуванню економічної ефективності науково-технічних новшеств на окремих підприємствах і в логістиці, то їх сучасний рівень не може вважатися задовільним. З робіт, присвячених цій проблемі можна відзначити [5], де використані теоретико-ігрові методи управління проектами наукоємких виробств, а також методи теорії розписань для рішення задач узгодженого планування і управління проек-

тами. В роботі [6] для моделювання інноваційної діяльності підприємства запропоновані методи економітрики, а саме моделі економічного зростання, засновані на використанні виробничих функцій з автономним і «індукованим» науково-технічним прогресом. В роботі [7] запропоновано ряд оптимізаційних моделей спільної оптимізації планів виробництва і інноваційної політики підприємства, однак ці моделі є статичними, що обмежує їх значимість для практичного застосування.

Хоча в останнє десятиліття проводилося багато досліджень по застосуванню економіко-математичних методів для вдосконалення організації і управління роботою підприємств [8; 9], однак в них практично не розглядалися проблеми інноваційного менеджменту. Так, наприклад, в посібнику [9] наведено багато евристичних і точних методів управління виробництвом на основі інформаційних технологій, але повністю не приділяється уваги інноваційним процесам.

Цель и задачи исследования. Метою даної статті є обґрунтування можливості використання моделей динамічної оптимізації для розробки методу оцінки цільовості реалізації інноваційного проекту в діяльності підприємств. Для досягнення вказаної мети будемо використовувати класичну модель Вагнера-Уайтінга теорії управління запасами і транспортної задачі математичного програмування (разом з її різними узагальненнями) [12-14]. При цьому будемо передбачати, що інноваційний проект стосується лише технологічних нововведень на підприємствах, а інноваційний ефект виражається в зменшенні залежності собівартості виробництва і перевезення вантажу від шуканих об'ємів інвестицій, направлених на заміну застарілих технологій перевезення новими. В результаті отримується деяка задача нелінійного програмування.

Основной материал исследования. Рассмотрим промышленное предприятие, производящее продукцию K наименований для реализации ее на рынке по заданной цене. Для выпуска продукции используется R видов сырья, полуфабрикатов и других производственных ресурсов, причем считается заданной матрица технологических коэффициентов $A = \|a_{kr}\|$, $k = 1, 2, \dots, K$;
 $r = 1, 2, \dots, R$,

где a_{kr} – количество ресурса r -го вида, которое затрачивается на производство единицы продукции k -го вида.

Все ресурсы закупаются у R поставщиков (у каждого поставщика закупается только один вид сырья, а рынок сырья неограничен). Предприятие планирует свою деятельность на T периодов вперед (время изменяется дискретно). Будем считать, что закупка сырья производится в конце предыдущего периода, а вывоз готовой продукции в N пунктов назначения происходит в конце каждого периода.

Параметрами управления в данной задаче будут следующие переменные:

x_{rt} – количество ресурсов r -го вида, которые предприятие приобретает в конце периода t ;

y_{kt} количество продукции k – го вида, которую предприятие планирует произвести к концу периода t ;

z_{knt} – количество готовой продукции k -го вида, которое планируется доставить в n -й пункт назначения в периоде t .

Для записи ограничений на введенные параметры управления, а также целевой функции введем ряд дополнительных условных обозначений:

p_{kt} – продажная цена единицы продукции k – го вида в периоде t ;

s_{rt} – затраты на закупку единицы производственного ресурса r – го вида и его доставку на предприятие в периоде t ;

e_{kt} – производственные затраты на производство единицы продукции k -го вида в периоде t ;

c'_{rt} – расходы на хранение единицы ресурса r – го вида на складе предприятия в периоде t ;

c''_{kt} – расходы на хранение единицы готовой продукции на складе предприятия в периоде t ;

E_1 и E_2 – вместимости складов предприятия для хранения ресурсов и готовой продукции соответственно;

q_{1r} – начальный запас ресурса r – го вида на складе
 $(\sum_{r=1}^R q_{1r} \leq E_1)$;

q_{2k} – начальный запас готовой продукции на складе
 $(\sum_{k=1}^K q_{2k} \leq E_2)$;

s_{knt} – расходы на транспортировку единицы готовой продукции k -го вида в n -й пункт назначения в периоде t .

Затратами на размещение заказов на закупку сырья для простоты пренебрегаем.

Поскольку выпуск продукции любого вида может производиться за счет запасов ресурсов, имеющихся на складе к началу каждого периода, то производственное потребление ресурса r – го вида в первых t периодах должно удовлетворять ограничениям

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^t a_{kr} y_{kj} \leq \sum_{j=1}^{t-1} x_{rj} + q_{1r}, \quad t = 1, 2, \dots, T; r = 1, 2, \dots, R. \quad (1)$$

Аналогично, суммарный завоз всей произведенной продукции каждого вида во все пункты назначения в первых t периодах не может превышать объема всей произведенной продукции этого вида в предыдущих периодах, т.е.

$$\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^t z_{knj} \leq \sum_{j=1}^{t-1} y_{kj} + q_{2k}, t=1,2,\dots,T; k=1,2,\dots,K. \quad (2)$$

Из (1) видно, что уровень запасов ресурса r -го вида на складе в периоде t составит

$$-\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^t a_{kr} y_{kj} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{rj} + q_{1r}, t=1,2,\dots,T; r=1,2,\dots,R.$$

Аналогично, из (2) следует, что уровень запаса готовой продукции k -го вида на складе в периоде t есть

$$-\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^t z_{knj} + \sum_{j=1}^{t-1} y_{kj} + q_{2k}, t=1,2,\dots,T; k=1,2,\dots,K.$$

С другой стороны, хотя за первые t периодов предприятие может закупить любое количество ресурсов каждого вида, оно не может хранить их в большем объеме, чем это позволяет свободная вместимость склада, т. е.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^t x_{rj} \leq E_1 - \sum_{r=1}^R q_{1r} + \sum_{j=1}^t \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K a_{kr} y_{kj}, t=1,2,\dots,T. \quad (3)$$

Аналогично, ограничение на вместимость склада готовой продукции имеет вид

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^t y_{kj} \leq E_2 - \sum_{k=1}^K q_{2k} + \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^t z_{knj}, t=1,2,\dots,T. \quad (4)$$

Наконец, в n -й пункт назначения готовая продукция k -го вида должна быть доставлена в количестве d_{kn} на горизонте планирования T , т.е.

$$\sum_{t=1}^T z_{knt} = d_{kn}, k=1,2,\dots,K; n=1,2,\dots,N. \quad (5)$$

Параметры управления должны удовлетворять также условию неотрицательности

$$x_{rt}, y_{kt}, z_{knt}, v_{kt} \geq 0, \forall k, r, n, t. \quad (6)$$

Выразим теперь через введенные параметры управления расходы по хранению ресурсов и продукции на складах предприятия за плановый период. Будем считать, что эти расходы за каждый период пропорциональны количеству ресурсов (соответственно продукции) каждого вида, находящихся на складе в течение этого периода. Это предположение приводит к тому, что средние затраты на хранение ресурса r -го вида в периоде t составят

$$c'_{rt} (q_{1r} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{rj} - \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^K a_{kr} y_{kj}), t=1,2,\dots,T. \quad (7)$$

Что касается средних затрат на хранение готовой продукции k -го вида в периоде t , то они равны

$$c''_{kt} (q_{2k} + \sum_{j=1}^{t-1} y_{kj} - \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^t z_{knj}).$$

Предполагается, что издержки на производство единицы продукции k -го вида $e_{kt}(v_{kt})$ являются убывающими функциями от размера инвестиций v_{kt} в реализацию технологической новации k -го вида в период t . Например, можно принять, что

$$e_{kt}(v_{kt}) = \frac{e_{0k}}{1 + \gamma_k v_{kt}} \quad (8)$$

или

$$e_{kt}(v_{kt}) = e_{0k} e^{-\gamma_k v_{kt}},$$

где e_{0k} – значение издержек для устаревшей технологии;
 γ_k – коэффициент, характеризующий степень эффективности инноваций при производстве продукции k -го вида.

Теперь, с учетом (7), (8), мы можем выразить значение прибыли, получаемой предприятием за плановый период T , через параметры управления

$$P = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K [(p_{kt} - e_{kt}(v_{kt}))y_{knt} - v_{kt}] - \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T c_{kt}''(q_{2k} + \sum_{j=1}^{t-1} y_{kj} - \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^t z_{knj}) - \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T [s_{rt}x_{rt} - c'_{rt}(q_{1r} + \sum_{j=1}^{t-1} x_{rj} - \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^K a_{kr}y_{kj})] - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T s_{nt}z_{knt}. \quad (9)$$

Таким образом, мы пришли к следующей задаче нелинейного программирования: найти максимальное значение функции (9) при условиях (1)-(6), (8).

Приведенная модель может быть обобщена также на тот случай, когда транспортные компании, осуществляющие перевозки готовой продукции, также внедряют за счет собственной прибыли инновационные технологии, приводящие к снижению транспортных издержек [7].

Выводы. Из результатов проведенных исследований видно, что:

1. Классические задачи оптимального управления запасами, обычно используемые в практике планирования работы предприятий, могут быть модифицированы с целью учета их инновационной активности. Это позволяет использовать соответствующие модели оптимизации для разработки совместно инновационной и производственной стратегий предприятия. Кроме того, применение задач транспортного типа позволяет производить оптимизацию соответствующих планов с учетом требований маркетинга (поскольку в них учитывается спрос в пунктах назначения) и логистики (оптимизация распределения грузопотоков);

2. Реализация задач рассмотренного выше типа в системе управления предприятий или в деятельности логистического оператора на базе информационных технологий позволит усилить их конкурентные позиции на рынке логистических услуг и повысить эффективность совместного планирования производства и перевозок;

3. В дальнейших исследованиях возможны различные обобщения приведенных в данной работе результатов на основе большого разнообразия существующих задач оптимизации транспортного типа, а также с учетом возможных логистических приложений [10; 12-14], в том числе и для случайного спроса в пунктах конечного потребления [10].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Федулова Л. *Инновационное развитие: эволюция взглядов и проблемы современного понимания* / Л. Федулова // *Экономическая теория*. – 2013. – № 2. – С. 28-45.
2. Сахал Д. *Технический прогресс: концепции, модели, оценки* / Д. Сахал. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 366 с.
3. Московкин В.М. *Основы концепции диффузии инноваций* / В.М. Московкин // *Бизнес-Информ*. – 1998. – № 17-18. – С. 41-48.
4. Москвиченко И.М. *О применении обобщенной логистической кривой для моделирования диффузии инноваций* / И.М. Москвиченко, М.Я. Постан // *Управління проектами та розвиток виробництва*. – 2001. – № 2. – С. 127-133.
5. Павлов А.А. *Математические основы управления проектами наукоемких производств* / А.А. Павлов, С.К. Чернов, К.В. Кошкин, Е.Б. Мисюра. – Николаев: НУК, 2006. – 208 с.

6. Москвиченко И.М. Применение моделей экономического роста для прогнозирования инновационных процессов / И.М. Москвиченко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. праць. – 2002. – Вип. 2(5). С. 138-145.
7. Москвиченко И.М. Исследование методов оптимизации планов производства и перевозки продукции с учетом инновационной деятельности предприятий / И.М. Москвиченко, М.Я. Постан // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 5/2(19). – С. 26-30.
8. Voss S. Introduction to computational optimization models for production planning in a supply chain [Text] / S. Voss, D.L. Woodruff . – Berlin: Springer, 2006. – 257 p.
9. Laha D. Handbook of computational intelligence in manufacturing and production management / D. Laha, P. Mandal. – Hershey PA: Information Science Reference, 2008. – 491 p.
10. Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок / М.Я. Постан. – Одесса: Астропринт, 2006. – 376 с.
11. Гольштейн Е.Г. Задачи линейного программирования транспортного типа / Е.Г. Гольштейн, Д.Б. Юдин. – М.: Наука, 1969. – 382 с.
12. Постан М.Я. Динамическая модель оптимального управления запасами товаров и их доставкой в деятельности логистической фирмы / М.Я. Постан // Логистика: проблемы и решения. – 2009. – № 2. – С. 54-58.

13. Morozova I.V. Dynamic Optimization Model for Planning of Integrated Logistical System Functioning / I.V. Morozova, M.Ya. Postan, S.N. Dashkovskiy // Proceedings of 3d International Conference «Dynamics in Logistics», LDIC2012, Bremen, Germany, Feb./March 2012. – Berlin: Springer, 2013. – 291-300.
14. Постан М. Модели оптимального управления материальными потоками в цепях поставок / М.Я. Постан // Розділ колективної монографії «Логістика: генезис, гносеологія, адаптація» / За заг. ред. д.е.н., проф. В.П. Волкова, д.е.н., доц. Л.А. Горошкової. – Запоріжжя: ЗНУ, 2015. – С. 146-160.

Стаття надійшла до редакції 22.06.2016

Рецензент – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Економічна теорія та кібернетика» Одеського національного морського університету **Г.С. Махуренко**